

2. Сборщиков Г.С., Вельтищев Н.Ф., Володин А.М., Крупенников С.А. Новый подход к описанию механизма перемешивания ванны в аппаратах с барботажным слоем: труды 4 международной научно-практической конференции «Энергосберегающие технологии в промышленности». – М.: МИСИС, 2012. С. 434–439.

3. Сборщиков Г.С., Крупенников С.А. Универсальный плавильный энерготехнологический агрегат // Металлург. № 6. 2009. С. 38–41.

4. Здановская В.Г. Оптимизация конструкции фурменной зоны и гидродинамического режима печей с барботажным слоем при боковом подводе дутья: Дис...канд. техн. наук. – М.: МИСИС, 1982. – 224 с.

5. Стоименов Х.К. Усовершенствование конструкции и режима работы фьюминговых печей с газовым отоплением: Дисс...канд. техн. наук. – М.: 1983. – 168 с.

УДК 669.02.001

П. А. Сеченов, В. П. Цымбал, А. А. Оленников

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»,
г. Новокузнецк, Россия

ПОСТАНОВКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ДИФфуЗИОННОГО ПЕРЕХОДА НА ГРАНИЦЕ ШЛАК-МЕТАЛЛ В КОЛОННОМ СТРУЙНО-ЭМУЛЬСИОННОМ РЕАКТОРЕ

Аннотация

В данной статье проведены исследования механизмов диффузионного перехода на имитационной модели колонного струйно-эмульсионного реактора. В качестве изменяемых параметров выступали: радиус частицы железной руды, количество подаваемых частиц углерода. Основными изучаемыми параметрами были содержание оксида железа (по высоте колонного реактора, в слое шлака) и содержание углерода в копильнике. В работе проведен анализ влияния радиуса подаваемых частиц, количества частиц углерода, времени нахождения частицы железа в слое шлака, коэффициента диффузии на границе шлак-металл на содержание углерода в копильнике.

Ключевые слова: диффузионный переход, струйно-эмульсионный реактор, исследование, имитационная модель.

Abstract

This article studied the mechanisms of transition to the diffusion simulation model column jet emulsion reactor. As variable parameters were: the radius of the particles of iron ore, the amount of supplied carbon particles. The main parameters studied were the content of iron oxide (the height of the column reactor into the slag layer), and carbon content of the forehearth. The analysis of the influence of the radius of the feed particles, the amount of carbon particles, the residence time of the iron particles in the slag layer, the diffusion coefficient for the slag-metal edge on the carbon content of the forehearth.

Keywords: diffusion transition, jet-emulsion reactor, research, simulation model.

Целью работы является изучение влияния механизмов диффузионного перехода на границе шлак-металл в колонном струйно-эмульсионном реакторе (СЭР) [1] на состав получаемого продукта – металла. Одной из диссипативных структур [2] СЭР является диффузионный переход на границе шлак-металл. Рассмотрим механизмы, происходящие в этой структуре.

Диффузионный переход на границе шлак-металл состоит из следующих стадий:

1. Попадающие в шлак частицы железной руды с учетом крупности, плотности, действующих на них сил витают и плавятся преимущественно в слое шлака, прилегающего к

металлу, находящемуся в копильнике. Диффузионный переход на границе шлак-металл определяется следующими соотношениями:

$$V_{FeO}^D = \beta_{ШМ} [(FeO)_{Ш} - (FeO)_{РШМ}], \quad (1)$$

где $(FeO)_{Ш}$ – содержание FeO в шлаке; $(FeO)_{РШМ}$ – содержание (FeO), равновесное с металлом; $\beta_{ШМ}$ – коэффициент массоотдачи из шлака в металл.

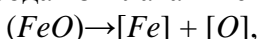
$$(FeO)_{РШМ} = \frac{[O]_{PM}}{f(FeO)L} = \frac{[O]_{PM}}{0,0023}, \quad (2)$$

где L – коэффициент распределения между шлаком и металлом; $[O]_{PM}$ – равновесное содержание кислорода в металле.

$$[O]_{PM} = \frac{0,0025 \cdot P_{CO}}{[C]_M}, \quad (3)$$

где P_{CO} – давление в пузырьках CO; $[C]_M$ – содержание углерода в металле.

2. В результате диффузионного потока, определяемого формулой (1) осуществляется переход кислорода из шлака в металл, где происходит диссоциация FeO:



а затем протекает реакция, с растворенным в металле углеродом



Объёмы компонентов углерода, железа и оксида углерода, образовавшихся в результате диссоциации FeO, рассчитываются по формулам:

$$V_C^o = \frac{12}{72} V_{FeO}^o, \quad (5)$$

$$V_{Fe}^o = \frac{56}{72} V_{FeO}^o, \quad (6)$$

$$V_{CO}^o = \frac{22,4}{72} V_{FeO}^o \frac{M_M}{100}, \quad (7)$$

где M_M – масса металла.

3. Подъем газовых пузырей CO, образовавшихся в результате диссоциации FeO по формуле (4).

Задача обезуглероживания частиц железа в слое шлака.

Наряду с механизмом диффузионного перехода, ранее, в статье [2], посвященной системе диссипативных моделей был рассмотрен механизм обезуглероживания частиц железа, опускающихся по периферии колонного реактора из верхней части, где происходят преимущественно восстановительные процессы, в том числе с твердым углеродом, витающим в потоке восстановленного газа.

1. Из частицы железа, проходящей через слой шлака, выгорает углерод:

$$\Delta m_c = m_K \Delta C, \quad (8)$$

где m_K – масса капли; ΔC – процент обезуглероживания.

$$\Delta C = W \cdot \tau_{np}, \quad (9)$$

где W – скорость обезуглероживания; τ_{np} – время пребывания капли в слое шлака.

2. Одновременно с выгоранием углерода, происходит уменьшение количество оксида железа, пропорционально массе окисленного углерода:

$$-\Delta m_{FeO} = \frac{72}{12} \Delta m_c. \quad (10)$$

3. При этом одновременно из шлака в металл осуществляется переход железа в соответствии со стехиометрическим соотношением:

$$\Delta m_{Fe} = \frac{56}{12} \Delta m_c. \quad (11)$$

4. А также выделение CO, в соответствии с соотношением:

$$\Delta V_{CO} = \frac{22,4}{12} \Delta m_c. \quad (12)$$

Переход капли металла через границу шлак-металл сопровождается эмульгированием некоторого количества объема шлака в металл [3] и образованием пузырька оксида углерода [4]. Скорость выгорания в каплях металла по прямым экспериментам [5] при радиусе королька 0,1 см составляет 0,10 % С/с, для радиуса королька 0,025 см – 24 % С/мин. При этом процесс окисления углерода в корольках лимитируется диффузией кислорода в пограничном слое металл-шлак.

Исследования на имитационной модели [6] колонного СЭР.

1. Влияние радиуса подаваемых частиц железной руды на содержание С в копильнике.

На рисунке 1 показана зависимость содержания углерода и FeO от радиуса частицы руды. Как видно из данного рисунка содержание углерода в копильнике для частиц радиусом 3 мм составляет 2,8%, а для частиц радиусом 0,5мм – 1,6% что обуславливается временем пребывания частиц железной руды в колонном реакторе и вероятностью встреч частиц руды и углерода.

На рисунках 2–3 показаны зависимости процентного содержания углерода от времени пребывания шлака и металла соответственно. При этом зависимость времени пребывания железа от содержания углерода аналогична зависимости содержанию FeO от содержания углерода.

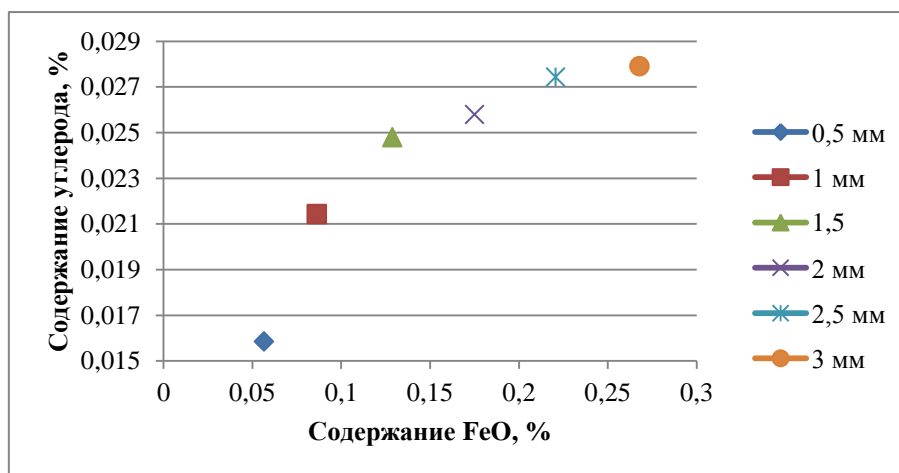


Рис. 1. Зависимость содержания углерода от содержания FeO

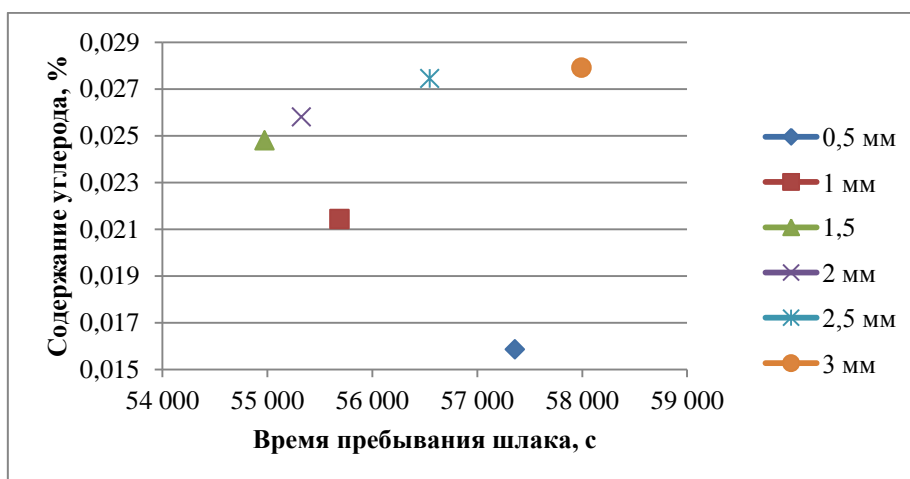


Рис. 2. Зависимость содержания углерода от времени пребывания шлака при разной крупности частиц руды

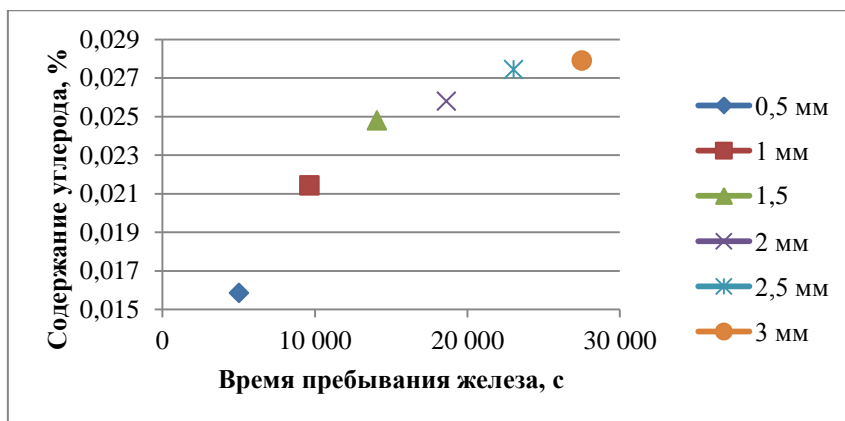


Рис. 3. Зависимость содержания углерода от времени пребывания железа при разной крупности частиц руды

2. Влияние количества подаваемых частиц углерода на содержание С в копильнике.

На рисунке 4 показано содержание углерода при различном количестве подаваемых частиц углерода (при этом коэффициент количества подаваемого углерода меняется от 0,6 до 1,4). Из рисунка видно, что чем меньше количество подаваемых частиц углерода, тем меньше содержание углерода в копильнике.

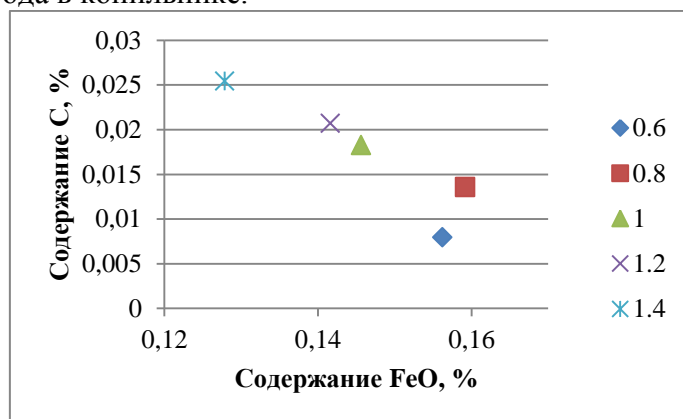


Рис. 4. Содержание углерода в копильнике при различном соотношении количества подаваемых частиц углерода

На рисунке 4 также показано изменение содержания оксида железа в слое при разном количестве подаваемых частиц углерода. При этом наблюдается следующая зависимость: содержание FeO в слое больше, если количество подаваемых частиц углерода меньше.

Выводы: содержание углерода в копильнике зависит от радиуса подаваемых частиц (времени пребывания), количества подаваемых частиц углерода, времени пребывания частиц железа в шлаке (скорости выгорания углерода в шлаке) и коэффициента диффузии на границе шлак-металл.

Наибольшее влияние на содержание углерода оказывает вероятность встречи частиц железной руды с углеродом: увеличение радиуса частицы железной руды приводит к большей вероятности встречи с частицами углерода, увеличение количества подаваемых частиц углерода также приводит к увеличению содержанию углерода в копильнике.

При переходе через шлак, металлическая частица теряет часть углерода, при этом частица меньших размеров находится в шлаке большее времени.

Список использованных источников

1. Цымбал, В.П. Процесс СЭР – металлургический струйно-эмульсионный реактор / В.П. Цымбал, С.П. Мочалов, И.А. Рыбенко [и др.]; под ред. В.П. Цымбала. – М: «Металлургиздат», 2014. – 488 с.

2. Сеченов, П.А. Модели диссипативных структур струйно-эмульсионного металлургического реактора / П.А. Сеченов, В.П. Цымбал, А.А. Оленников // В сборнике: Металлургия: технологии, инновации, качество. 2015. С. 68–74.

3. Рошин, В.Е. Исследование процесса перехода капель металла через границу шлак-металл / В.Е. Рошин, О.Г. Иваненко, Д.Я. Поволоцкий // Изв. вузов. Черная металлургия. 1978. № 6. С. 45–48.

4. Кольцов, А.Т. Разрушение металлических капель в процессе обезуглероживания / А.Т. Кольцов, С.И. Филиппов, В.В. Яковлев // Изв. вузов. Черная металлургия. 1976. № 8. С. 86–89.

5. Меджибожский, М.Я. Экспериментальное исследование скорости выгорания углерода в жидких корольках металла, пребывающих в шлаке / М.Я. Меджибожский, О.Т. Фатхи // Изв. вузов. Черная металлургия. 1980. № 8. С. 26–29.

6. Сеченов, П.А. Алгоритмическая и программная реализация имитационной модели гравитационного сепаратора в колонном реакторе агрегата СЭР / П.А. Сеченов, В.П. Цымбал // Сборник докладов IV Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, посвященной 95-летию кафедры и университета. – Екатеринбург: УрФУ, 2015. – С. 110–114.

УДК 621.783.223.2

А. С. Суворкина, Г. М. Дружинин

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия,

ОАО «Научно-исследовательский институт металлургической теплотехники»

(ОАО «ВНИИМТ»), г. Екатеринбург, Россия

РЕКОНСТРУКЦИЯ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ МЕТОДИЧЕСКОЙ ПЕЧИ С ИНЖЕКЦИОННЫМИ ГОРЕЛКАМИ НА ПОДОГРЕТОМ ВОЗДУХЕ

Аннотация

В ходе исследования было установлено, что методическая печь ЛПЦ-1 завода Arcelor Mittal Temirtay работает с низкими технико-экономическими показателями. Причина этого в системе отопления печи, которая нуждается в реконструкции. Ситуация усугубляется тем, что снизилось количество выпускаемого коксодоменного газа, также упало его качество.

На основании полученных результатов, были разработаны технические решения по устранению причин неудовлетворительной работы печи, заключающиеся в реконструкции системы отопления с учетом качества необходимого топлива.

Новая система отопления позволит уменьшить расход топлива, повысить давление до необходимого перед горелочным устройством, обеспечит меньшую зависимость от состава газа, тем самым улучшить нагрев металла. Производительность печи с новой системой отопления увеличится на 10%.

Ключевые слова: методическая печь, реконструкция системы отопления, инжекционные горелки, рекуператор, коксодоменный газ.

Abstract

The study found that the continuous furnace LPC-1 Arcelor Mittal Temirtay plant operates with low technical and economic indicators. The reason for this in the furnace heating system which is in need of renovation. The situation is compounded by the fact that the reduced number of produced coke, blast furnace gas, also dropped its quality.

Based on these results, we developed technical solutions to address the causes of unsatisfactory performance of the furnace, consisting of the reconstruction of the heating system based on the